

VIA HAND DELIVERY  
PATENT  
90606.4

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

<p>In re application of: Hirotaka KAJI Serial No.: Currently unknown  Filing Date: Concurrently herewith For: ATTITUDE ANGLE CONTROL APPARATUS, ATTITUDE ANGLE CONTROL METHOD, ATTITUDE ANGLE CONTROL APPARATUS CONTROLPROGRAM, AND MARINE VESSEL NAVIGATION CONTROL APPARATUS</p>	
--	--

**TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENTS**

U.S. Patent and Trademark Office  
2011 South Clark Place  
Customer Window, Mail Stop PATENT APPLICATION  
Crystal Plaza Two, Lobby, Room 1B03  
Arlington, VA 22202

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Japanese Patent Application 2003-094697 filed March 31, 2003, from which priority is claimed under 35 U.S.C. 119 and Rule 55b.

March 26, 2004

Page 2 of 2

Acknowledgement of the priority document is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

Date: March 26, 2004

  
Attorneys for Applicant(s)

Joseph R. Keating  
Registration No. 37,368

Christopher A. Bennett  
Registration No. 46,710

**KEATING & BENNETT LLP**  
10400 Eaton Place, Suite 312  
Fairfax, VA 22030  
Telephone: (703) 385-5200  
Facsimile: (703) 385-5080



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

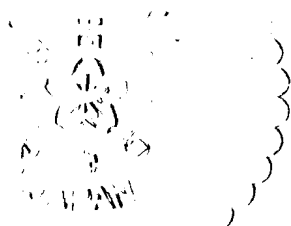
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    3 月 3 1 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 7  
Application Number:

[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 7 ]

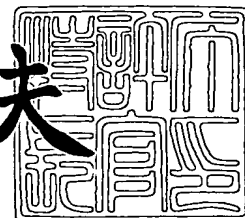
出      願      人                      ヤマハ発動機株式会社  
Applicant(s):



2 0 0 4 年    1 月 1 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 1 0 9 1 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 PY50986JP0

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G05B 13/02

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県磐田市新貝 2 5 0 0 番地 ヤマハ発動機株式会社  
内

【氏名】 梶 洋隆

【特許出願人】

【識別番号】 000010076

【氏名又は名称】 ヤマハ発動機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066980

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 哲也

【選任した代理人】

【識別番号】 100075579

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 嘉昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100103850

【弁理士】

【氏名又は名称】 崔 秀▲てつ▼

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001638

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9911475

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 姿勢角制御装置、姿勢角制御方法、姿勢角制御装置制御プログラム、及び、航走制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 船舶の備える所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御装置であって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得する燃料消費率取得手段と、

前記燃料消費率取得手段によって取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出する評価値算出手段と、

前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得する情報取得手段と、

前記評価値算出手段によって算出された評価値と前記情報取得手段によって取得された前記所定情報とを記憶する情報記憶手段と、

前記情報記憶手段によって記憶された前記評価値及び前記所定情報に基づき、前記燃料消費率を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成する統計モデル生成手段と、

前記燃料消費率又はその代替値と、前記統計モデル生成手段によって生成された統計モデルと、に基づき前記所定部品の姿勢角の目標値を算出する目標姿勢角算出手段と、

前記所定部品の姿勢角と前記目標姿勢角算出手段によって算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御手段と、を備えることを特徴とする姿勢角制御装置。

【請求項 2】 前記燃料消費率の代替値は、燃料消費量、エンジン回転数、前記船舶の航走速度及びスロットル開度のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 記載の姿勢角制御装置。

【請求項 3】 前記統計モデル生成手段は、前記評価値及び前記所定情報を新たに得る毎に、当該新たに得た評価値及び所定情報に基づき前記統計モデルを生成することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の姿勢角制御装置。

【請求項 4】 前記統計モデル生成手段は、前記統計モデルの生成に必要な

各パラメータの推定値を算出可能となっていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置。

【請求項 5】 前記目標姿勢角算出手段は、前記統計モデルに基づき、当該統計モデルにおいて前記燃料消費率が最大となる姿勢角を前記姿勢角の目標値として算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置。

【請求項 6】 前記目標姿勢角算出手段は、当該目標姿勢角算出手段によって算出された前記姿勢角の目標値と現在の姿勢角との差が、予め設定された限度値を超えたときに、当該限度値を前記姿勢角の目標値とすることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置。

【請求項 7】 前記統計モデル生成手段は、最小 2 乗法、重み付き最小 2 乗法及びロバスト推定法のうち、いずれか一つを用いて前記統計モデルを生成するようになっていることを特徴とする姿勢角制御装置。

【請求項 8】 前記統計モデル生成手段は、前記統計モデルの最適値を得る姿勢角を中心とした所定の数値範囲内において所定条件に基づき決定された姿勢角を、前記姿勢角の目標値とすることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置。

【請求項 9】 前記統計モデル生成手段は、制御初期に前記評価値を取得するときに、過去に生成した統計モデルにおいて当該統計モデルの最適値を得る姿勢角を含むように、前記評価値の取得範囲を調整することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置。

【請求項 10】 船舶の備える所定部品の姿勢角を制御するための姿勢角制御方法であって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得し、

前記取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出し、

前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得し、

前記算出された評価値と前記取得された所定情報とに基づき、前記燃料消費率

を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成し、

前記燃料消費率又はその代替値と前記生成された統計モデルとに基づき、前記所定部品の姿勢角の目標値を算出し、

前記所定部品の姿勢角と前記算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御することを特徴とする姿勢角制御方法。

【請求項 11】 船舶の備える所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御装置を制御するためのコンピュータが実行可能なプログラムであって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得する燃料消費率取得ステップと、  
前記燃料消費率取得ステップにおいて取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出する評価値算出ステップと、  
前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得する情報取得ステップと、

前記評価値算出ステップにおいて算出された評価値と前記情報取得ステップにおいて取得された前記所定情報とを記憶する情報記憶ステップと、

前記情報記憶ステップにおいて記憶された前記評価値及び前記所定情報に基づき、前記燃料消費率を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成する統計モデル生成ステップと、

前記燃料消費率又はその代替値と、前記統計モデル生成ステップにおいて生成された統計モデルと、に基づき前記所定部品の姿勢角の目標値を算出する目標姿勢角算出ステップと、

前記所定部品の姿勢角と前記目標姿勢角算出ステップにおいて算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御ステップと、を備えることを特徴とする姿勢角制御装置制御プログラム。

【請求項 12】 船舶の航走を制御する航走制御装置であって、

前記第 1 乃至第 9 のいずれか 1 項に記載の姿勢角制御装置を備えることを特徴とする航走制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】



**【発明の属する技術分野】**

本発明は、船舶の備える、艇体の姿勢角、推進器の姿勢角、及び、艇体に対する推進器の姿勢角などの所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御装置に係り、特に、燃料消費率を向上させるのに好適な姿勢角制御装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

従来、例えば、小型船舶に搭載される推進器(船外機、船内外機、船内機、ウォータージェット)の姿勢角を適切に調整することで船体抵抗を低減し、結果として燃料消費率を向上させることが可能であることが知られている。

しかし、燃料消費率を向上させるためには、刻一刻と変化する気象・海象に応じてエンジン回転数や姿勢の微妙な変化を感じ取り、姿勢角の調整を続けなければならない、これは操船者に大きな負荷を強いることになる。従って、現実には熟練者でも一回の航走で2～3度の調整しか行わないことが多く、初心者に至っては最も抵抗の大きい状態、すなわち艇体のトランサムに対して推進器が内側に入った状態(フルトリムイン)で航走することがほとんどである。

**【0003】**

このような問題点を鑑みて、これまでに船体抵抗低減による燃料消費率向上の方法に関する様々な提案が行われてきた。

例えば、特許文献1の発明では、メーカーが出荷前に推進器の姿勢角と燃料消費率の関係を開発段階で実験にて求め、この特性を電子制御ユニット(ECU)にマップとして保持させることにより、航走の状態に応じて適切な姿勢角を得ることを提案している。

**【0004】**

また、特許文献2の発明では、スロットル一定で航走している状態で船外機の姿勢角を微調整し、そのときの速度を最大にする姿勢角を最適な姿勢角として選択する方法を提案している。速度が最大になるということは船体抵抗が最小になるということであり、これはすなわち燃料消費率が最大となる姿勢角を選択することが可能となる。この方法は、航走中に姿勢角と速度の関係を計測して最適な姿勢角を選択するので、任意の艇体と船外機の組合せで実施することが可能であ

る。

#### 【0005】

更に、特許文献3の発明では、エンジン回転数一定で航走できる装置をもつ推進器の姿勢角を微調整し、そのときの燃料消費量を最小にする姿勢角を最適な姿勢角として選択する方法を提案している。この方法も特許文献2の発明と同様、任意の艇体と推進器の組合せで実施することが可能である。

#### 【0006】

##### 【特許文献1】

特開平9-76992号公報

##### 【特許文献2】

特開昭61-12498号公報

##### 【特許文献3】

米国特許第5785562号明細書

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許文献1の発明では、開発段階で実験を実施するにあたって艇体及び推進器を定める必要があるために、結果として艇体と推進器とが一緒になった状態で出荷されることとなり、搭載される機種が限定されるという問題点がある。

また、特許文献2の発明及び特許文献3の発明では、航走中に姿勢角毎の速度及び燃料消費量を計測し、最良の値を得る姿勢角を選択するが、陸上とは異なり水上では風や波といった外乱によって非常に大きな計測誤差が発生するために、姿勢角の影響を正確に調べるためには非常に長時間の計測が必要になると言う問題点がある。

#### 【0008】

そこで、本発明は、このような従来の技術の有する未解決の課題に注目してなされたものであって、任意の艇体と推進器の組合せにおいて、航走中に姿勢角と燃料消費率を計測し、その計測データから統計モデルを作成し、統計モデル上で最適な姿勢角を選択することで、航走中の外乱の影響を受けずに短時間で最適な

姿勢角を選択する姿勢角制御装置、姿勢角制御方法及び姿勢角制御装置制御プログラムを提供することを目的としている。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係る請求項1記載の姿勢角制御装置は、船舶の備える所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御装置であって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得する燃料消費率取得手段と、

前記燃料消費率取得手段によって取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出する評価値算出手段と、

前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得する情報取得手段と、

前記評価値算出手段によって算出された評価値と前記情報取得手段によって取得された前記所定情報とを記憶する情報記憶手段と、

前記情報記憶手段によって記憶された前記評価値及び前記所定情報に基づき、前記燃料消費率を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成する統計モデル生成手段と、

前記燃料消費率又はその代替値と、前記統計モデル生成手段によって生成された統計モデルと、に基づき前記所定部品の姿勢角の目標値を算出する目標姿勢角算出手段と、

前記所定部品の姿勢角と前記目標姿勢角算出手段によって算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御手段と、を備えることを特徴としている。

#### 【0010】

このような構成であれば、燃料消費率取得手段によって、前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得することが可能であり、評価値算出手段によって、燃料消費率取得手段によって取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出することが可能であり、情報取得手段によって、前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得することが可能であり、情報記憶手段によって、前記評価値算出手段によって

算出された評価値と前記情報取得手段によって取得された前記所定情報とを記憶することが可能であり、統計モデル生成手段によって、前記情報記憶手段によって記憶された前記評価値及び前記所定情報に基づき前記所定部品の姿勢角に対する統計モデルを生成することが可能であり、目標姿勢角算出手段によって、前記燃料消費率又はその代替値と、前記統計モデル生成手段によって生成された統計モデルと、に基づき前記所定部品の姿勢角の目標値を算出することが可能であり、姿勢角制御手段によって、前記所定部品の姿勢角と前記目標姿勢角算出手段によって算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御することが可能である。

#### 【0011】

従って、例えば、任意の艇体と推進器の組合せにおいて、航走中に姿勢角と燃料消費率を計測し、その計測データから統計モデルを作成し、統計モデル上で、艇体に対する推進器の最適な姿勢角を選択するので、航走中の外乱の影響を受けずに短時間で最適な姿勢角を選択することが可能となる。

ここで、船舶の備える所定部品とは、主に、艇体や推進器(船外機、船内外機、船内機、ウオータジェット)等のことである。

#### 【0012】

また、統計モデルとは、ランダムではない測定値または観測値として扱われる説明変数(独立変数とも言う)によって、確率変数とみなす被説明変数(基準変数、目的変数、応答変数、従属変数とも言う)を説明するものである。そして、公知の統計モデルとしては、重回帰モデル、判別モデル、分類木(決定木)、自己回帰モデル、移動平均自己回帰モデル、ニューラルネットワークモデル等がある。

#### 【0013】

また、燃料消費率は、単位時間当たりの移動距離を燃料消費量で割ることで求められる値である。

また、請求項2に係る発明は、請求項1記載の姿勢角制御装置において、前記燃料消費率の代替値は、燃料消費量、エンジン回転数、前記船舶の航走速度及びスロットル開度のうち少なくとも一つを含むことを特徴としている。

**【0014】**

つまり、燃料消費率の代替値として、燃料消費量、エンジン回転数、前記船舶の航走速度及びスロットル開度のうち少なくとも一つを含むようにした。

従って、上記した代替値から、以下に示す12項目の最適化を行うことが可能となり、燃料消費効率を向上することが可能となる。

- (1) スロットル開度一定でのエンジン回転数最小化
- (2) スロットル開度一定での速度最大化
- (3) スロットル開度一定での燃料消費量最小化
- (4) スロットル開度一定での燃料消費率最大化
- (5) エンジン回転数一定でのスロットル開度最小化
- (6) エンジン回転数一定での速度最大化
- (7) エンジン回転数一定での燃料消費量最小化
- (8) エンジン回転数一定での燃料消費率最大化（ただし、エンジン回転数一定にするための航走制御装置が必要である。）
- (9) 速度一定でのスロットル開度最小化
- (10) 速度一定でのエンジン回転数最小化
- (11) 速度一定での燃料消費量最小化
- (12) 速度一定での燃料消費率最大化（ただし、速度一定にするための航走制御装置が必要である。）

ここで、燃料消費量は燃料流量計を用いて直接計測するほか、インジェクタの噴射時間から算出することも可能である。

**【0015】**

また、請求項3に係る発明は、請求項1又は請求項2記載の姿勢角制御装置において、前記統計モデル生成手段は、前記評価値及び前記所定情報を新たに得る毎に、当該新たに得た評価値及び所定情報に基づき前記統計モデルを生成することを特徴としている。

つまり、前記統計モデル生成手段によって、前記評価値及び前記所定情報を新たに得る毎に、当該新たに得た評価値及び所定情報に基づき前記統計モデルを生成することが可能である。

## 【0016】

例えば、統計モデルの作成を逐次実施することによって、最適化の初期段階から推定される最適なトリム角付近での航走が可能となり、不必要にトリム角を上げて艇体の挙動を不安定にすることなく、次第に統計モデルの精度も向上していくので、安定した最適化が可能となる。

また、請求項4に係る発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記統計モデル生成手段は、前記統計モデルの生成に必要な各パラメータの推定値を算出可能となっていることを特徴としている。

## 【0017】

つまり、前記統計モデル生成手段によって、前記統計モデルの生成に必要な各パラメータの推定値を算出することが可能である。

例えば、定速で航走する小型船舶における燃料消費率とトリム角の関係を表す統計モデルの構造は、事前実験により決定することが出来る。従って、例えば、2次多項式を統計モデルとし、燃料消費率を被説明変数  $y$ 、トリム角を説明変数  $x$  として以下に示す式(1)における偏回帰係数  $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  を最小2乗法などを用いて推定することで各パラメータを推定することが可能である。

## 【0018】

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times x + \beta_2 \times x^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、請求項5に係る発明は、請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記目標姿勢角算出手段は、前記統計モデルに基づき、当該統計モデルにおいて前記燃料消費率が最大となる姿勢角を前記姿勢角の目標値として算出することを特徴としている。

## 【0019】

つまり、前記目標姿勢角算出手段によって、前記統計モデルに基づき、当該統計モデルにおいて前記燃料消費率が最大となる姿勢角を前記姿勢角の目標値として算出することが可能である。

例えば、燃料消費率とトリム角のサンプル値に基づき作成された統計モデルは、あるトリム角に対する燃料消費率の推定値を出力することが可能である。燃料消費率の推定値を最大にするトリム角は、実際の燃料消費率を最大にする事が期

待できるので、統計モデルから燃料消費率の推定値を最大にするトリム角を算出し、これを新たな目標トリム角として出力することで、好適な燃料消費率を得ることが可能となる。

#### 【0020】

また、請求項6に係る発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記目標姿勢角算出手段は、当該目標姿勢角算出手段によって算出された前記姿勢角の目標値と現在の姿勢角との差が、予め設定された限度値を超えたときに、当該限度値を前記姿勢角の目標値とすることを特徴としている。

#### 【0021】

つまり、前記目標姿勢角算出手段によって、当該目標姿勢角算出手段によって算出された前記姿勢角の目標値と現在の姿勢角との差が、予め設定された限度値を超えたときに、当該限度値を前記姿勢角の目標値とすることが可能である。

例えば、トリム角という船体抵抗を調整するパラメータを最適化するために、これを急激に変化させることは船外機の負荷や操舵特性の急激な変化を引き起こすこととなり、使用者に不安を与えてしまう可能性がある。従って、これを避けるためにトリム角の1回の調整幅の上限を $\pm 2^\circ$ として、現在のトリム角と統計モデルから算出される目標トリム角の差が調整幅の上限を超えない場合はそのまま目標トリム角を、調整幅の上限を超える場合は調整幅の上限を新たな目標トリム角として出力することで、上記した問題を回避することが可能となる。

#### 【0022】

また、請求項7に係る発明は、請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記統計モデル生成手段は、最小2乗法、重み付き最小2乗法及びロバスト推定法のうち、いずれか一つを用いて前記統計モデルを生成するようになっていることを特徴としている。

つまり、前記統計モデル生成手段によって、最小2乗法、重み付き最小2乗法及びロバスト推定法のうち、いずれか一つを用いて前記統計モデルを生成することが可能である。

#### 【0023】

例えば、サンプル値が、最適値を得るトリム角の付近に集中した状態で統計モデルを作成すると、端部にある少数のサンプル値の影響が大きく現れる可能性がある。そこで、重み付き最小2乗法やロバスト推定法を用いることにより、この影響を減らすことが可能となる。

また、請求項8に係る発明は、請求項1乃至請求項7のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記統計モデル生成手段は、前記統計モデルの最適値を得る姿勢角を中心とした所定の数値範囲内において所定条件に基づき決定された姿勢角を、前記姿勢角の目標値とすることを特徴としている。

#### 【0024】

つまり、前記統計モデル生成手段によって、前記統計モデルの最適値を得る姿勢角を中心とした所定の数値範囲内において所定条件に基づき決定された姿勢角を、前記姿勢角の目標値とすることが可能である。

例えば、最適値を得る姿勢角付近でのサンプル値を意図的に若干ばらつかせることで、統計モデルの精度を向上させることが可能である。具体的には、現在のトリム角 $T$ と最適トリム角 $T_b$ とが一致していた場合は、確率的な変動を加えた値を目標トリム角 $T_t$ として出力する。

#### 【0025】

また、請求項9に係る発明は、請求項1乃至請求項8のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置において、前記統計モデル生成手段は、制御初期に前記評価値を取得するときに、過去に生成した統計モデルにおいて当該統計モデルの最適値を得る姿勢角を含むように、前記評価値の取得範囲を調整することを特徴としている。

#### 【0026】

つまり、前記統計モデル生成手段によって、制御初期に前記評価値を取得するときに、過去に生成した統計モデルにおいて当該統計モデルの最適値を得る姿勢角を含むように、前記評価値の取得範囲を調整することが可能である。

例えば、初期サンプル値を獲得する範囲を、過去の統計モデルを利用して運転者に不快感を与えない範囲で適切に調整することによって統計モデルの精度を向上させることが可能である。具体的には、初期状態では統計モデルが無いので最



も艇体の安定性が高いフルトリムインから探索を開始するが、一度統計モデルを作成した後に新たに統計モデルを作成する際は過去の統計モデルを利用して初期サンプル値を獲得する範囲を決める。

【0027】

また、本発明に係る請求項10記載の姿勢角制御方法は、船舶の備える所定部品の姿勢角を制御するための姿勢角制御方法であって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得し、

前記取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出し、

前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得し、

前記算出された評価値と前記取得された所定情報とに基づき、前記燃料消費率を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成し、

前記燃料消費率又はその代替値と前記生成された統計モデルとに基づき、前記所定部品の姿勢角の目標値を算出し、

前記所定部品の姿勢角と前記算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御することを特徴としている。

【0028】

ここで、本発明は、上記請求項1記載の姿勢角制御装置により実現されるもので、その効果は重複するので記載を省略する。

また、本発明に係る請求項11記載の姿勢角制御装置制御プログラムは、船舶の備える所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御装置を制御するためのコンピュータが実行可能なプログラムであって、

前記船舶の燃料消費率又はその代替値を取得する燃料消費率取得ステップと、

前記燃料消費率取得ステップにおいて取得された前記燃料消費率又はその代替値に基づき、前記所定部品の姿勢角の評価値を算出する評価値算出ステップと、

前記評価値に係り且つ少なくとも前記所定部品の姿勢角を含む所定情報を取得する情報取得ステップと、

前記評価値算出ステップにおいて算出された評価値と前記情報取得ステップにおいて取得された前記所定情報とを記憶する情報記憶ステップと、

前記情報記憶ステップにおいて記憶された前記評価値及び前記所定情報に基づき、前記燃料消費率を被説明変数とし且つ前記所定部品の姿勢角を説明変数とした統計モデルを生成する統計モデル生成ステップと、

前記燃料消費率又はその代替値と、前記統計モデル生成ステップにおいて生成された統計モデルと、に基づき前記所定部品の姿勢角の目標値を算出する目標姿勢角算出ステップと、

前記所定部品の姿勢角と前記目標姿勢角算出ステップにおいて算出された前記目標値とに基づき両者が一致するように前記所定部品の姿勢角を制御する姿勢角制御ステップと、を備えることを特徴としている。

#### 【0029】

ここで、本発明は、上記請求項1記載の姿勢角制御装置を制御するためのプログラムであり、その効果は重複するので記載を省略する。

また、本発明に係る請求項12記載の航走制御装置は、船舶の航走を制御する航走制御装置であって、

前記第1乃至第9のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置を備えることを特徴としている。

#### 【0030】

つまり、上記請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載の姿勢角制御装置を備えた航走制御装置であり、与えられた目標速度に応じて、目標エンジン回転数を算出する目標エンジン回転数算出モジュール、算出された目標エンジン回転数に応じた電子スロットル弁開度を算出する電子スロットル弁開度算出モジュール等を備え、推進器から出力される各種情報に基づき、上記した作用によって船舶の備える所定部品の姿勢角を制御し、船舶の航走状態を制御するものである。

#### 【0031】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図1乃至図13は、本発明に係る小型船舶の姿勢角制御装置を備える航走制御システムの実施の形

態を示す図である。まず、本発明に係る航走制御システムの構成を図 1 に基づき説明する。図 1 は、本発明に係る航走制御システムの構成を示すブロック図である。

#### 【0032】

航走制御システム 1 は、船外機 2 と、航走制御装置 3 とを含んだ構成となっている。

船外機 2 は、推進力調整装置として電子スロットル弁 2 a と、姿勢角調整装置としてパワートリム&チルト（以下、PTTと称す）装置 2 b と、を含んだ構成となっている。

#### 【0033】

航走制御装置 3 は、定速航走制御部 3 0 と、トリム角制御部 3 1 と、を含んだ構成となっている。

定速航走制御部 3 0 は、所定の入力情報に基づき目標エンジン回転数を算出する目標エンジン回転数算出モジュール 3 0 a と、当該算出された目標エンジン回転数に基づき電子スロットル弁開度を算出する電子スロットル弁開度算出モジュール 3 0 b と、を含んだ構成となっている。

#### 【0034】

目標エンジン回転数算出モジュール 3 0 a は、ファジィ推論システムによって構成されており、速度偏差（現在の速度と目標速度との差）、加速度を入力として目標エンジン回転数変化量を推論し、この推論結果に 1 つ前の算出処理における目標エンジン回転数を加えて現在の目標エンジン回転数を出力するものである。

電子スロットル弁開度算出モジュール 3 0 b は、目標エンジン回転数算出モジュール 3 0 a と同様にファジィ推論システムによって構成されており、エンジン回転数偏差（現在のエンジン回転数と目標エンジン回転数との差）とエンジン回転数変化量とを入力として電子スロットル弁開度変化量を推論し、この推論結果に 1 つ前の算出処理における電子スロットル弁開度を加えて現在の電子スロットル弁開度として出力するものである。ここで、ファジィ推論システムのファジィテーブルは、熟練者の操船知識を基に設計され、且つ、推論法には簡略型推論法を用いており、この方法におけるファジィルールは実数値で表される。

**【0035】**

トリム角制御部 31 は、トリム角の評価値を算出する評価値算出モジュール 31a と、少なくともトリム角を含む所定の情報及び評価値を、両者を対応付けて記憶する記憶媒体 31b と、記憶媒体 31b に記憶された評価値を被説明変数、少なくともトリム角を含む所定の情報を説明変数として統計モデルを作成する統計モデル作成モジュール 31c と、前記統計モデルから目標トリム角を算出する目標トリム角算出モジュール 31d と、を含んだ構成となっている。

**【0036】**

評価値算出モジュール 31b は、艇体の燃料タンクから船外機 2 の燃料噴射装置に至る燃料経路中に挿入された燃料流量計にて計測された燃料消費量と、速度計にて計測された速度から算出した移動距離から燃料消費率を算出し、これをトリム角の評価値として出力するものである、記憶媒体 31c は、トリム角と、その時の燃料消費率を対として記憶するものである。

**【0037】**

統計モデル作成モジュール 31d は、記憶媒体 31c に記憶された燃料消費率を被説明変数、トリム角を説明変数として、予め与えられた回帰式の偏回帰係数を最小 2 乗法を用いて推定し、この推定結果に基づき統計モデルを作成するものである。

目標姿勢角算出モジュール 31e は、統計モデル作成モジュール 31d により作成された統計モデルを用いて目標姿勢角を算出するものである。

**【0038】**

更に、図 2 乃至図 5 に基づき、航走制御システム 1 の具体的な動作を説明する。

図 2 は、目標エンジン回転数算出モジュール 30a において目標エンジン回転数を算出するためのファジィルールの説明図であり、図 3 は、電子スロットル弁開度算出モジュール 30b において電子スロットル弁開度を算出するためのファジィルールの説明図であり、図 4 は、評価値算出モジュール 31a、記憶媒体 31b 及び統計モデル作成モジュール 31 間のデータの流れを示す図であり、図 5 は、燃料消費率とトリム角との関係を示す図である。

**【0039】**

本実施の形態では、本システム1を電子スロットル弁装置を有する船外機を備えた船舶に適用し、使用者の設定した速度での定速航走中に船外機トリム角(以下トリム角という)の制御を実施した場合を説明する。

まず、使用者は目標速度の設定を行う。目標速度は使用者が決定した任意の値を入力しても良いし、また、メーカーが出荷段階で用意した複数の値の中から選択しても良い。目標速度が設定されると、次に、この速度に基づき目標エンジン回転数の初期値が設定されることになる。例えば、現在の船舶の航走速度が目標速度付近であるときは、現在のエンジン回転数が目標エンジン回転数として設定され、一方、現在の船舶の航走速度が目標速度付近でないときは、予め設定された目標エンジン回転数の初期値を用いる。ここで、目標エンジン回転数の初期値は、使用者が決定した任意の値を入力しても良いし、また、メーカーが出荷段階で用意した複数の値の中から選択しても良い。

**【0040】**

目標エンジン回転数の初期値設定後は、実際の船舶の航走状態に応じて、図2に示すファジィルールに基づき、そのときの航走速度に応じた目標エンジン回転数を算出することになる。つまり、図2(a)に示すメンバシップ関数から速度偏差及び加速度の推論値を求め、これを図2(b)のファジィルールに当てはめて重みの平均を求め目標エンジン回転数の変化量を算出する。メンバシップ関数の速度偏差(目標速度と実際の速度との差)は、実際の速度の検出値から求め、加速度は算出された速度を演算して求める。図2(a)に示すように、速度偏差及び加速度に応じてメンバシップ関数から、プラス側の大小(PL、PS)及びマイナス側の大小(NL、NS)に対応した4つの値が求まり、これらを図2(b)に示すファジィルールに対応する4つの値に重み付けして平均値を算出する。これにより、目標エンジン回転数の変化量が求められる。そして、この変化量を現在の目標エンジン回転数に加えることで、新たな目標エンジン回転数が求まる。

**【0041】**

更に、目標エンジン回転数算出モジュール30aは、目標エンジン回転数を、

電子スロットル弁開度算出モジュール 30b に対して出力し、当該電子スロットル弁開度算出モジュール 30b は、入力された目標エンジン回転数に基づきスロットル弁開度を算出する。ここで、電子スロットル弁開度算出モジュール 30b も、目標エンジン回転数算出モジュール 30a と同様にファジィ推論システムにより電子スロットル弁開度を算出する。つまり、目標エンジン回転数算出モジュール 30a から目標エンジン回転数を取得すると、図 3 (a) に示すメンバシップ関数に基づき、エンジン回転数の検出値からエンジン回転数偏差の推論値を求め、また、エンジン回転数の変化量は、エンジン回転数の検出値から演算により求める。つまり、上記図 2 と同様に、メンバシップ関数の値から、図 3 (b) のファジィルールの重み付けによる演算処理を行って電子スロットル弁開度の変化量が求められる。この変化を電子スロットル弁開度に加えることで、新たな電子スロットル弁開度が求まる。

#### 【0042】

このようにして新たな電子スロットル弁開度が算出されると、定速航走制御部 30 は、この算出された新たな電子スロットル弁開度に一致するように電子スロットル弁装置 2a の制御を行う。

本実施の形態においては、トリム角は「 $-5^{\circ}$  ～  $8^{\circ}$ 」の範囲で制御されることとする。

#### 【0043】

トリム角は、通常使用者のトリムスイッチへの入力により操作されるが、定速航走中にトリム角制御を選択するとトリム角制御が開始される。

トリム角制御が開始されると、まず、トリム角制御部 31 は、初期トリム角が「 $-5^{\circ}$ 」となるように PTT 装置 2a を制御する。これと同時に、評価値算出モジュール 31a は、一定時間の燃料消費率の算出をおこなう。具体的には、例えば、20 秒間の平均速度より算出した 20 秒間に進んだ距離を、図示しない燃料流量計により計測した 20 秒間の燃料消費量で割ることにより求められる。そして、図 4 に示すように、求められた評価値（トリム角と燃料消費率との組（以下サンプル値という））は、逐次記憶媒体 31b に記憶される。

#### 【0044】

本実の形態では、以後「2°」刻みに「-3°」、「-1°」、「1°」まで、これら4つのトリム角における燃料消費率のサンプル値を初期サンプル値として取得する。

次に、図4に示すように、初期サンプル値が獲得されると、統計モデル作成モジュール31cは、サンプル値の燃料消費量を被説明変数 $y$ 、トリム角を説明変数 $t$ として、予め与えられた以下に示す2次多項式(2)の偏回帰係数 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ を最小2乗法により推定する。

#### 【0045】

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times t + \beta_2 \times t^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

本実施の形態では最小2乗法の解法として、船舶の備える図示しないECUへの実装の容易さから最急降下法を用いる。

そして、目標トリム角算出モジュール31dは、得られた2次多項式から「 $-5 \leq t \leq 8$ 」の範囲で最大の $y$ を与える $t$ を求め、それを目標トリム角 $T_t$ として出力する。

#### 【0046】

このようにして新たな目標トリム角 $T_t$ が算出されると、トリム角制御部30は、この算出された新たな目標トリム角 $T_t$ に一致するようにPTT装置2bの制御を行う。

更に、再び評価値算出モジュール31bは、目標トリム角 $T_t$ によって燃料消費率を算出し、統計モデル作成モジュール31cは、新たなサンプル値を獲得して、再び上記手順を繰り返して新たな統計モデルを生成する。このようにして、逐次上記した2次多項式(2)を更新していき、目標トリム角算出モジュール31dにおいて算出される目標トリム角が変化しなくなった時点で最適化を終了する。

#### 【0047】

ここで、一般にサンプル値から統計モデルを作成し、統計モデル上で最適化を行う方法は応答曲面法と呼ばれ、サンプル値を効率よく得るためにモンテカルロ法や実験計画法が用いられる。具体的には、サンプル値が得られる範囲を覆うようにランダムサンプリング、もしくは実験計画法に基づく方法(例えば、ラテン

方格や直交計画)を用いてサンプリングを行う。

#### 【0048】

しかしながら、本実施の形態では、トリム角という船体抵抗を調整するパラメータを最適化することを目的としているために、これを急激に変化させることは船外機の負荷や操舵特性が急激な変化を引き起こす原因となり、使用者に不安を与えてしまう可能性がある。

これを避けるために、本実施の形態では、上記したようにまず最初に最も安定性の高いフルトリムイン付近で初期サンプル値を獲得するようにした。具体的には、例えば、最適化開始時の初期目標トリム角度を「 $-5^{\circ}$ 」にセットし、以後、 $2^{\circ}$  刻みに「 $-3^{\circ}$ 」、「 $-1^{\circ}$ 」、「 $1^{\circ}$ 」まで、これら4つトリム角における燃料消費率のサンプル値を取得した時点で、統計モデル作成モジュール31cにおいて多項式回帰方程式を推定する。こうすることで、不用意にトリム角を上昇させることなく最適値を算出することが出来る。

#### 【0049】

更に、上記実施の形態では、トリム角の変化量に限度を設けた。具体的には、例えば、トリム角の1回の変化量の限度を $\pm 2^{\circ}$ として、図5(a)に示されるように現在のトリム角と統計モデルから算出される目標トリム角の差が変化量の限度を超えない場合はそのまま目標トリム角を、図5(b)に示されるように変化量の限度を超える場合は限度を新たな目標トリム角として出力するようにした。こうすることで、トリム角を急激に変化させることがないので、使用者に不安を与えることが無くなる。

#### 【0050】

以上の操作を繰り返すことによって、外乱が加わる環境に置いても少ないサンプル数でも最適なトリム角を選択することが可能となる。

更に、図9に基づき、定速航走制御部30における動作処理の流れを説明する。図9は、定速航走制御部30における動作処理を示すフローチャートである。

図9に示すように、まずステップS100に移行し、目標速度の設定を行いステップS102に移行する。

#### 【0051】



ここで、目標速度は、上記したように、使用者が決定した任意の値を入力しても良く、また、メーカーが出荷段階で用意した複数の値の中から選択しても良い。

ステップS102では、目標エンジン回転数の初期値を設定してステップS104に移行する。ここで、目標エンジン回転数の初期値は、上記したように、使用者が決定した任意の値を入力しても良く、また、メーカーが出荷段階で用意した複数の値の中から選択しても良い。

#### 【0052】

ステップS104では、目標エンジン回転数算出モジュール30aによって、上記したようにファジィ推論システムを用いて、目標エンジン回転数を算出して、算出結果を電子スロットル弁開度算出モジュール30bに入力してステップS106に移行する。

ステップS106では、電子スロットル弁開度算出モジュール30bによって、前記入力された目標エンジン回転数に基づき、上記したように、ファジィ推論システムを用いて目標エンジン回転数に応じた電子スロットル弁開度を算出して、ステップS108に移行する。

#### 【0053】

ステップS108では、定速航走制御部30によって、上記算出された電子スロットル弁開度に基づき船外機2の電子スロットル弁装置2aを制御してステップS110に移行する。

ステップS110では、航走制御がOFFになっているか否かを判定し、OFFになっていると判定された場合(Yes)はステップS112に移行し、そうでない場合(No)はステップS104に移行する。

#### 【0054】

ステップS112に移行した場合は、スロットル開度を検出して処理を終了する。

更に、図10に基づき、トリム角制御部31の動作処理の流れを説明する。図10は、トリム角制御部31の動作処理を示すフローチャートである。

図10に示すように、まずステップS200に移行し、初期の目標トリム角 $T_t$ を「 $-5^\circ$ 」に設定してステップS202に移行する。

**【0055】**

ステップS202では、現在のトリム角Tが目標トリム角T<sub>t</sub>に一致するようにPTT装置2bの制御を行い、ステップS204に移行する。

ステップS204では、評価値算出モジュール31aによって、20秒間に進んだ距離とその間の燃料消費量に基づいて燃料消費量を算出し、この算出結果を記憶媒体31bに記憶してステップS206に移行する。

**【0056】**

ステップS206では、現在のトリム角Tが「1°」に達したか否かを判定し、達していない場合(No)はステップS208に移行し、達した場合(Yes)はステップS210に移行する。

ステップS210では、統計モデル作成モジュール31cによって、記憶媒体31bに記憶されたサンプル値に基づいて統計モデルを作成しステップS212に移行する。

**【0057】**

ステップS212では、目標トリム角算出モジュール31dによって、上記作成された統計モデルの最適化を行ない、最適な評価値を得るトリム角を目標トリム角T<sub>t</sub>として算出してステップS214に移行する。

ステップS214では、燃料消費率のサンプル値が既に10個以上獲得されているか否かを判定し、獲得されていない場合(No)はステップS216に移行し、獲得されている場合(Yes)はステップS220に移行する。

**【0058】**

ステップS216では、現在のトリム角Tが目標トリム角T<sub>t</sub>に一致するようにPTT装置2bの制御を行いステップS218に移行する。

ステップS218では、評価値算出モジュール31aによって、20秒間に進んだ距離とその間の燃料消費量に基づいて燃料消費量を算出し、この算出結果を記憶媒体31bに記憶してステップS210に移行する。

**【0059】**

ステップS220では、現在の目標トリム角T<sub>t</sub>が前回の目標トリム角T<sub>t</sub>と一致しているか否かを判定し、一致していない場合(No)はステップS216に移

行し、一致している場合(Yes)はステップS 2 2 2に移行する。

ステップS 2 2 2では、現在のトリム角Tが目標トリム角 $T_t$ に一致するようにP T T装置2 bの制御を行い処理を終了する。

#### 【0060】

更に、図11に基づき、評価値算出モジュール31 aの動作処理の流れを説明する。図11は、評価値算出モジュール31 aの動作処理を示すフローチャートである。

図11に示すように、まずステップS 3 0 0に移行し、燃料流量計によって計測された20秒間の燃料消費量Fを取得してステップS 3 0 2に移行する。

#### 【0061】

ステップS 3 0 2では、船外機2から取得した速度に基づく20秒間の平均速度から20秒間の移動距離Dを算出してステップS 3 0 4に移行する。

ここで、本実施の形態において、上記したステップS 3 0 0及びステップS 3 0 2の処理は、並行して行われることとする。

ステップS 3 0 4では、燃料消費量F及び移動距離Dに基づき下記に示す式(3)に従い燃料消費率 $F_c$ を算出してステップS 3 0 6に移行する。

#### 【0062】

$$F_c = D / F \quad \dots\dots\dots (3)$$

ステップS 3 0 6では、現在のトリム角Tと燃料消費率 $F_c$ を記憶媒体31 bに格納して処理を終了する。

更に、図12に基づき、統計モデル作成モジュール31 cの動作処理の流れを説明する。図12は、統計モデル作成モジュール31 cの動作処理を示すフローチャートである。

#### 【0063】

図12に示すように、まずステップS 4 0 0に移行し、記憶媒体31 bからサンプル値の読み込みを行いステップS 4 0 2に移行する。

ステップS 4 0 2では、最小二乗基準に基づいて、最急降下法による2次多項式モデル(上記式(2))の偏回帰係数 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ の推定を行いステップS 4 0 4に移行する。

**【0064】**

ステップS404では、得られた統計モデル情報である偏回帰係数 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ を目標トリム角算出モジュール31dに出力して処理を終了する。

更に、図13に基づき、目標トリム角算出モジュール31dの動作処理の流れを説明する。図13は、目標トリム角算出モジュール31dの動作処理を示すフローチャートである。

**【0065】**

図13に示すように、まずステップS500に移行し、統計モデル作成モジュール31cから偏回帰係数 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ を取得してステップS502に移行する。

ステップS502では、偏回帰係数 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ の2次多項式の最適解 $T_b$ を探索してステップS504に移行する。

**【0066】**

ステップS504では、上記得られた $T_b$ と現在のトリム角 $T$ との差を算出し、且つ、「 $-2^\circ < T - T_b < 2^\circ$ 」が真か偽かを判定し、真の場合(Yes)はステップS506に移行し、偽の場合(No)はステップS508に移行する。

ステップS506に移行した場合は、上記得られた $T_b$ を目標トリム角 $T_t$ として出力して処理を終了する。

**【0067】**

一方、ステップS508に移行した場合は、「 $T - T_b > 2^\circ$ 」ならば「 $T_t = T + 2^\circ$ 」として出力し、「 $T - T_b < -2^\circ$ 」ならば「 $T_t = T - 2^\circ$ 」として目標トリム角 $T_t$ を出力して処理を終了する。

更に、図6に基づき、統計モデル作成モジュール31cにおいて、ロバスト推定法を用いて統計モデルを生成する一例を説明する。図6は、ロバスト推定法を用いて2次多項式を推定する一例を示す図である。

通常、最小2乗法では、以下の式(4)に示す最小2乗平均基準(LMS (Least Mean Squared))を最小にする多項式のパラメータを推定する。

**【0068】**

【数 1】

$$LMS = 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \dots \dots (4)$$

【0069】

ここで、 $n$  はサンプル値の数であり、 $y$  はサンプル値であり、 $\hat{y}$  は応答曲面の出力である。

重み付き最小 2 乗法では、 $LMS$  の代わりに以下の式 (5) に示す重み付き最小 2 乗基準 ( $LWS$ ) を最小にする多項式のパラメータを推定する。

【0070】

【数 2】

$$LWS = 1/n \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \dots \dots (5)$$

【0071】

ここで、 $w_i$  は重みであり、この重み  $w_i$  は各サンプル値がパラメータの推定に及ぼす影響を調整するものである。例えば、ある値  $x_1$  におけるサンプル値  $y_1$  の分散  $\sigma_1^2$  よりも、 $x_2$  におけるサンプル値  $y_2$  の分散  $\sigma_2^2$  が小さなことが予め解っているような場合、 $y_2$  のほうが精度の良いサンプル値だと言える。このようなときに、上記した  $LMS$  基準を用いてそのまま多項式のパラメータを推定すると、精度の悪いサンプル値  $y_1$  の影響を受けて推定が上手くいかない可能性がある。そこで、重みとして「 $w_i = 1 / \sigma_i^2$ 」を用いると、分散の大きなサンプル値の影響を減らすことが出来るので、推定を有効に行うことができる。

【0072】

これまで、上記したような重み与える方法は、様々なものが提案されている。ロバスト推定法においても、例えば、代表的な手法として  $LMedS$  (Least Median of Squares) 推定法がある。この手法では、 $LMS$  基準の代わりに以下の式 (6) に示す最小 2 乗メディアン基準を最小にする応答曲面を推定する。

【0073】

【数3】

$$LMedS = \text{median}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \dots\dots(6)$$

【0074】

ここで、メディアンは中央値を求めることを表す。例えば、1つの外れ値(outlier: 想定外の大きなノイズが加わったサンプル値)を含む3つのサンプル値から線形モデル「 $y = \alpha_0 + \alpha_1 x$ 」を推定する場合、LMS基準では1つの外れ値の大小によって大きな影響を受けてしまうが、式(6)に示すように、中央値を求めるLMedS基準では1つの外れ値の大小による影響は無関係となることが解る。従って、外れ値が含まれた場合でも、その影響を受けないので、推定を有効に行うことができる。

【0075】

ロバスト推定法には他に、LMedS推定法のような順序統計量を利用したものとして、最小2乗分位点(LQS)推定法、最小2乗トリム(LTS)推定法、重み付き最小2乗法の一種であるM推定法などがある。

図6に示す一点鎖線のように、最小2乗法を用いた推定では、ノイズ等の影響により端部にある小数サンプル値に影響が大きく現れてしまう。一方、上記したロバスト推定法を用いることにより、図6に示す点線のように、この影響を減らすことが可能となる。

【0076】

更に、図7に基づき、統計モデル作成モジュール31cにおいて、統計モデルの精度を上げるための処理の一例を説明する。図7は、目標トリム角 $T_t$ をランダムに生成した際の燃料消費率とトリム角との関係を示す図である。

図7に示すように、目標トリム角 $T_t$ を図示した範囲においてランダムに生成することで、現在のトリム角 $T$ と最適トリム角 $T_b$ とが一致していたような場合に、範囲内において生成されたランダム値を目標トリム角 $T_t$ とすることで、最適化の終盤にサンプル値が最適トリム角 $T_b$ に集中することを避け、最適トリム角 $T_b$ 近傍で満遍なくサンプル値を収集することが可能となり、統計モデルの精

度を向上させることが可能となる。

#### 【0077】

更に、図8に基づき、統計モデル作成モジュール31cにおいて、初期サンプル値を獲得する範囲を、過去の統計モデルを利用して調整する一例を説明する。図8は、初期サンプル値を獲得する範囲を、過去の統計モデルを利用して調整する一例を示す図である。

ここで、サンプリング範囲と最適解との位置関係による推定解のずれについて述べる。本実施の形態のように、実際にシステムが稼働している状況で、大きくパラメータを変化させてサンプル値を採取することは、システムの挙動を大きく変化させる可能性があり、使用者に不安を与えることがあるために実施は困難である。このような場合は、ある程度動作が安定していることがわかっている狭い範囲内で初期のサンプリングを開始し、徐々にサンプリング範囲を大きくして最適解を推定する方法が有効である。しかし、サンプル値に加わるノイズが大きく、最適解が初期のサンプリング範囲外に存在する場合は、推定される最適解が初期サンプリング範囲の方向に依存して真の最適解を得ることができないという問題がある。

#### 【0078】

これは、サンプリング範囲の端部でサンプリングされたサンプル値が、統計モデルの形状に大きな影響を及ぼすことによる。例えば、回帰診断における以下の式(7)に示すクックの距離を用いて、統計モデルに及ぼす各サンプル値の影響を調べると、中央に比べて端部のサンプル値の影響力が大きくなることが解る。

#### 【0079】

#### 【数4】

$$\text{Cook's Distance} = \sum_{j=1}^n (\hat{y}_{ji} - \hat{y}_{\hat{j}})^2 / (p \cdot \hat{\sigma}^2) \quad \dots \dots (7)$$

#### 【0080】

ここで、 $\hat{y}_{\hat{i}}$  は全サンプルを用いて作成した統計モデルの推定値であり、 $\hat{y}_{\hat{j}i}$  は  $i$  番目のサンプルを除く全サンプルを用いて作成した統計モデル

ルの推定値であり、 $p$  はモデルのパラメータ値であり、 $\sigma_{hat}^2$  は分散の推定値である。

すなわち、最適値が初期のサンプリング範囲外に存在する場合において、境界付近のサンプル値がノイズの影響により本来得られる値よりも極端に高い場合又は低い場合は、最適値の推定精度が極端に悪くなり、サンプリング回数が制限されているオンライン最適化においては致命的な影響をもたらす。

#### 【0081】

本実施の形態の場合、ノイズ等の影響によりフルトリムインとは反対側の端部のサンプル値が極端に高い場合は、推定される最適トリム角  $T_b$  は極端に大きくなるが、目標トリム角  $T_t$  は現在のトリム角  $T + 2^\circ$  となる。この  $T_t$  で新たなサンプル値が採取されると、統計モデルに及ぼす影響力は  $T_t$  が最大となり、先ほどの極端に高いサンプル値の影響力は小さくなる。すなわち、端部のサンプル値が極端に高い場合は、端部のサンプル値に変化が無い場合と比べてほとんど変わりにくく最適化が進む。

#### 【0082】

一方、ノイズ等の影響によりフルトリムインとは反対側の端部のサンプル点が極端に低い場合は、推定される最適トリム角  $T_b$  は現在のトリム角  $T$  より小さくなり、目標トリム角  $T_t$  は現在のトリム角  $T$  より小さくなる。この  $T_t$  で新たなサンプル値が採取されても、統計モデルに及ぼす影響力は依然として先ほどの極端に低いサンプル値が最大となる。すなわち、端部のサンプル値が極端に低い場合は、端部のサンプル値に変化が無い場合と比べて  $T_b$  が小さく推定されてしまうことになる。

#### 【0083】

図8に示すように、一度統計モデルを作成した後に新たに統計モデルを作成する際は過去の統計モデルを利用して、過去の統計モデルにおける最適なトリム角  $T_b$  を含むように初期サンプル値を獲得する範囲を決める。これにより、上記した問題を回避することが可能となり、統計モデルの精度を向上させることが出来る。

#### 【0084】



以上、小型船舶の航走中において、評価値算出モジュール 31a において、トリム角と燃料消費率を取得し、当該取得したデータから評価値を算出し、統計モデル作成モジュール 31c において、算出された評価値及びトリム角から統計モデルを生成し、目標トリム角算出モジュール 31d において、前記生成された統計モデルを用いて艇体に対する船外機 2 の最適なトリム角を算出することが可能である。

#### 【0085】

ここで、図 1 に示す、評価値算出モジュール 31a における燃料消費量及び速度の取得処理は、請求項 1 記載の燃料消費率取得手段に対応し、評価値算出モジュール 31a における評価値の算出処理は、請求項 1 記載の評価値算出手段に対応し、記憶媒体 31b は、請求項 1 記載の情報記憶手段に対応し、統計モデル作成モジュール 31c は、請求項 1、3、4 及び 7～9 記載の統計モデル生成手段に対応し、目標トリム角算出モジュール 31d は、請求項 1、5 及び 6 記載の目標姿勢角算出手段に対応し、トリム制御部 31 における目標トリム角に基づくトリム角の制御処理は、姿勢角制御手段に対応する。

#### 【0086】

なお、本実施の形態では、統計モデルの構造として 2 次多項式を予め定めて用いたが、統計モデル作成モジュール 31c が統計モデルの構造を決定しても良い。例えば、統計モデルのサンプル値への当てはまりの良さを表す指標として、赤池の統計量基準 AIC (Akaike Information Criterion) に代表される統計量基準がある。AIC は最尤推定されるモデルの自由度を  $F$  とすると以下に示す式 (8) で表される。

#### 【0087】

$$AIC = -2 (\text{最大対数尤度}) + 2F \quad \dots\dots\dots (8)$$

この AIC が小さいほど、サンプル値への当てはまりが良い統計モデルと判断される。従って、与えられたサンプル値に対して複数の統計モデル (例えば、線形式、2 次多項式、3 次多項式) を作成し、AIC が最も小さい統計モデルを採用することで、常に最適な統計モデルを作成することが可能となる。

#### 【0088】

また、A I C の他にも、B I C (Bayesian Information Criteria) 、M D L (Minimum Description Length) 、C r o s s V a l i d a t i o n、F P E (Final Prediction Error) などの統計モデルを選択する基準がある。

#### 【0089】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明に係る姿勢角制御装置によれば、例えば、任意の艇体と推進器の組合せにおいて、航走中に姿勢角と燃料消費率を計測し、その計測データから統計モデルを作成し、統計モデル上で、艇体に対する推進器の最適な姿勢角を選択するようにしたので、航走中の外乱の影響を受けずに短時間で最適な姿勢角を選択することが可能となる。

#### 【0090】

ここで、本発明に係る姿勢角制御方法は、上記姿勢角制御装置により実現されるものであり、その効果は重複するので記載を省略する。

また、本発明に係る姿勢角制御装置制御プログラムは、上記姿勢角制御装置を制御するためのプログラムであり、その効果は重複するので記載を省略する。

また、本発明に係る航走制御装置は、上記姿勢角制御装置を備えたものであり、その効果は重複するので記載を省略する。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明に係る航走制御システムの構成を示すブロック図である。

##### 【図2】

目標エンジン回転数算出モジュール30aにおいて目標エンジン回転数を算出するためのファジィルールの説明図である。

##### 【図3】

電子スロットル弁開度算出モジュール30bにおいて電子スロットル弁開度を算出するためのファジィルールの説明図である。

##### 【図4】

評価値算出モジュール31a、記憶媒体31b及び統計モデル作成モジュール31間のデータの流れを示す図である。

**【図 5】**

燃料消費率とトリム角との関係を示す図である。

**【図 6】**

ロバスト推定法を用いて 2 次多項式を推定する一例を示す図である。

**【図 7】**

目標トリム角  $T_t$  をランダムに生成した際の燃料消費率とトリム角との関係を示す図である。

**【図 8】**

初期サンプル値を獲得する範囲を、過去の統計モデルを利用して調整する一例を示す図である。

**【図 9】**

定速航走制御部 30 における動作処理を示すフローチャートである。

**【図 10】**

トリム角制御部 31 の動作処理を示すフローチャートである。

**【図 11】**

評価値算出モジュール 31a の動作処理を示すフローチャートである。

**【図 12】**

統計モデル作成モジュール 31c の動作処理を示すフローチャートである。

**【図 13】**

目標トリム角算出モジュール 31d の動作処理を示すフローチャートである。

**【符号の説明】**

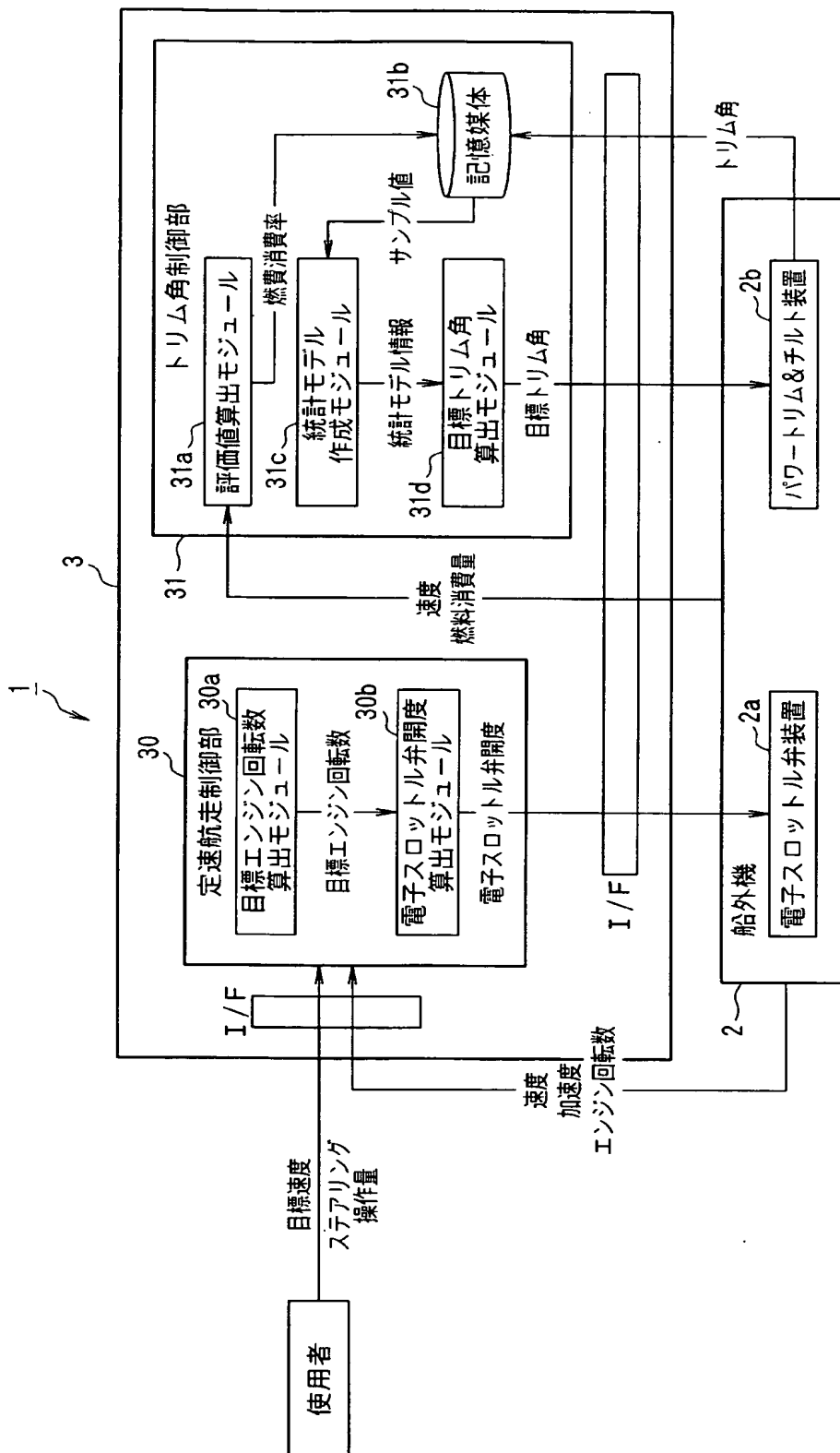
1	航走制御システム
2	船外機
2 a	電子スロットル弁装置
2 b	パワートリム & チルト装置
3	航走制御装置
3 0	定速航走制御部
3 0 a	目標エンジン回転数算出モジュール
3 0 b	電子スロットル弁開度算出モジュール

- 3 1 トリム角制御部
- 3 1 a 評価値算出モジュール
- 3 1 b 記憶媒体
- 3 1 c 統計モデル作成モジュール
- 3 1 d 目標トリム角算出モジュール

【書類名】

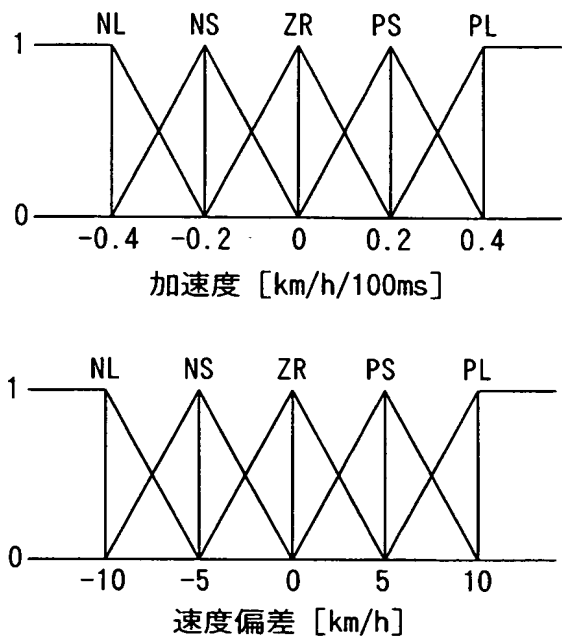
図面

【図 1】



【図 2】

(a)



前件部メンバシップ関数

(b)

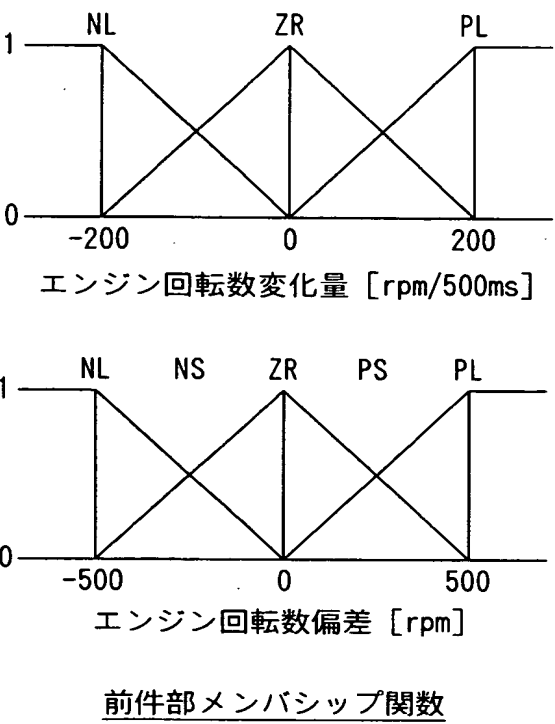
加速度						
		NL	NS	ZR	PS	PL
速度偏差	NL	50	50	0	-50	-100
	NS	100	100	20	-10	-100
	ZR	100	100	20	-10	-100
	PS	10	10	-10	-100	-200
	PL	-50	-100	-200	-200	-500

目標エンジン回転数変化量 [rpm/100ms]

ファジィルール

【図 3】

(a)



(b)

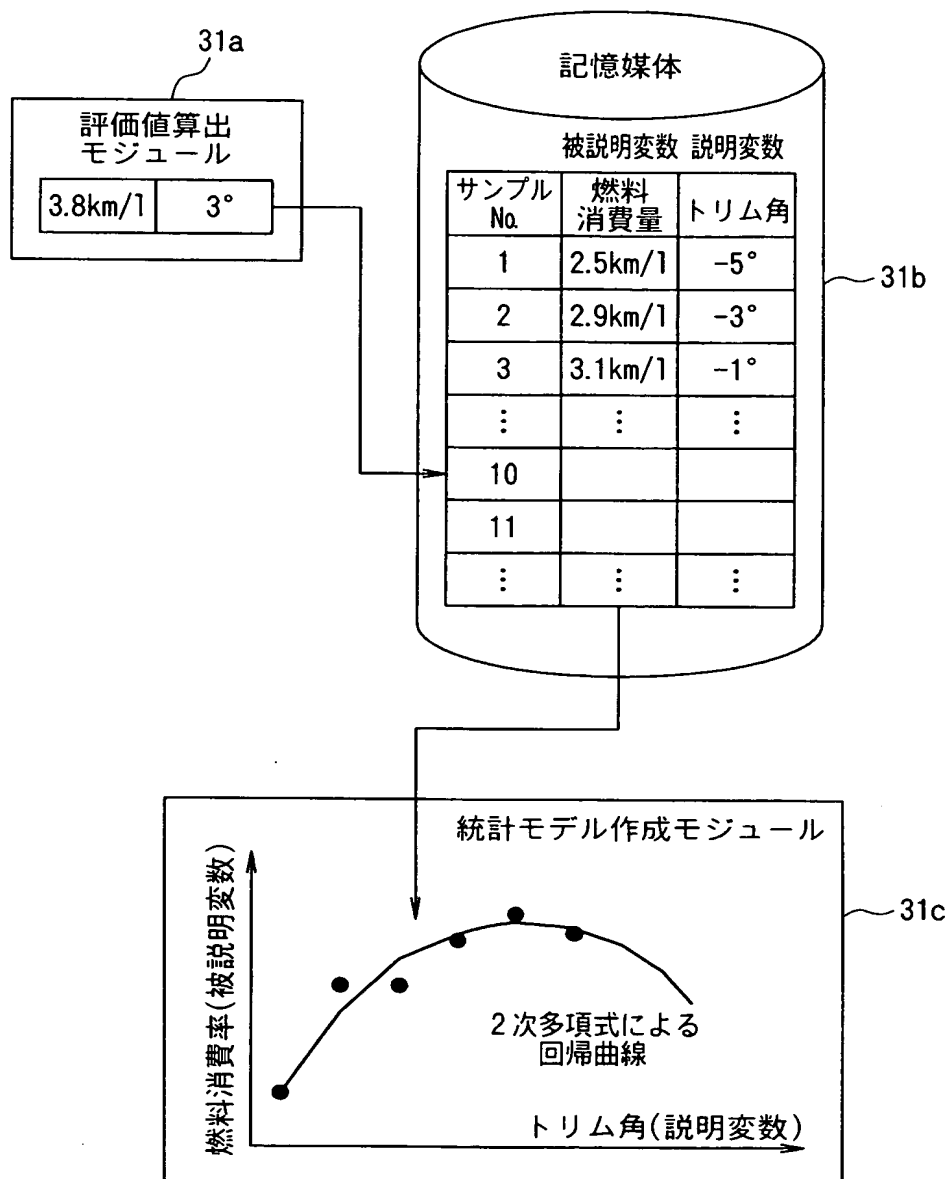
エンジン回転数偏差

	エンジン回転数変化量		
	NL	ZR	PL
NL	8.621	0.345	-0.345
ZR	4.138	0.000	-4.138
PL	0.345	-0.345	-8.621

スロットル開度変化量 [%/500ms]

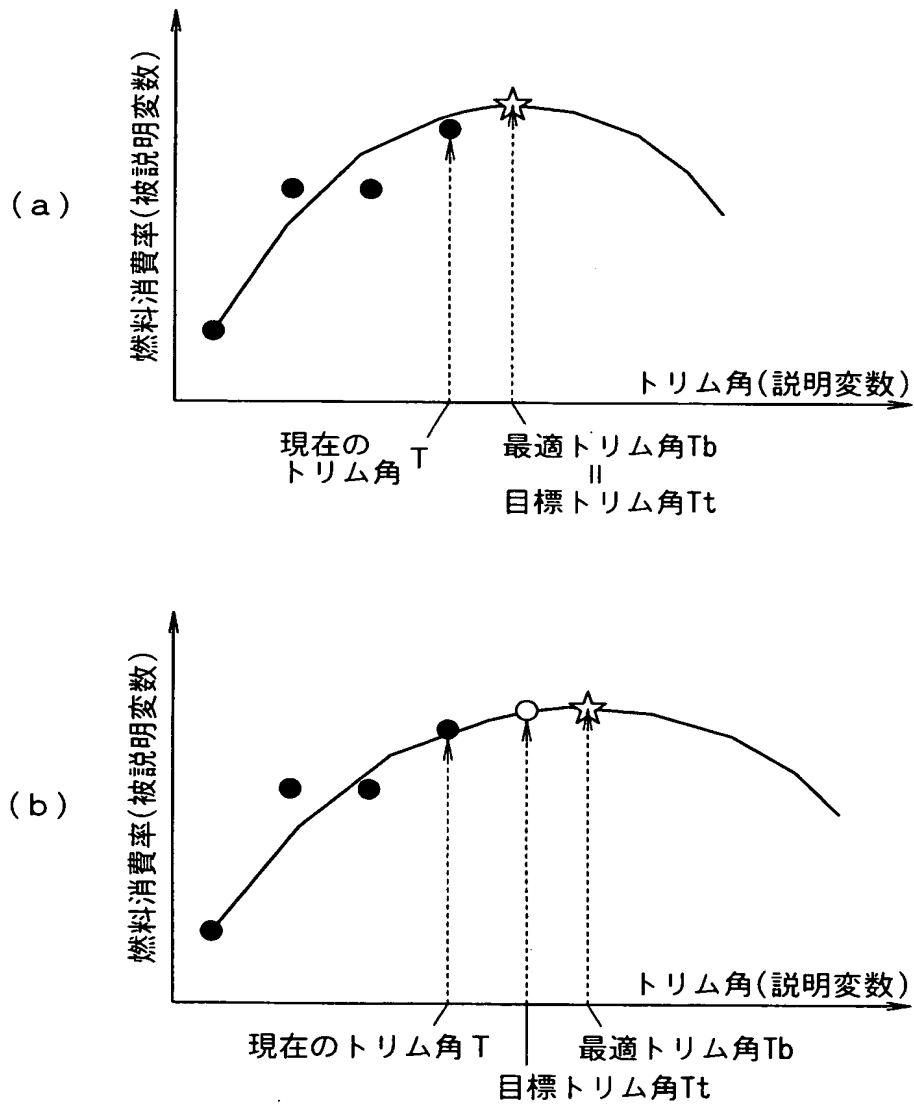
ファジィルール

【図 4】

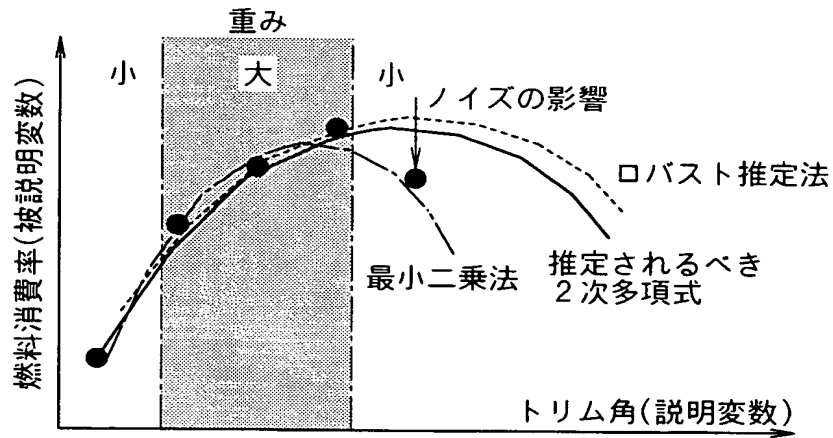




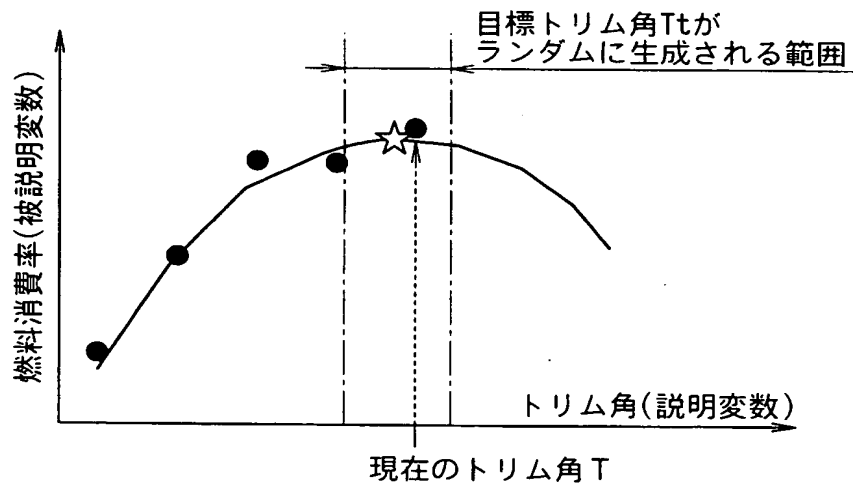
【図 5】



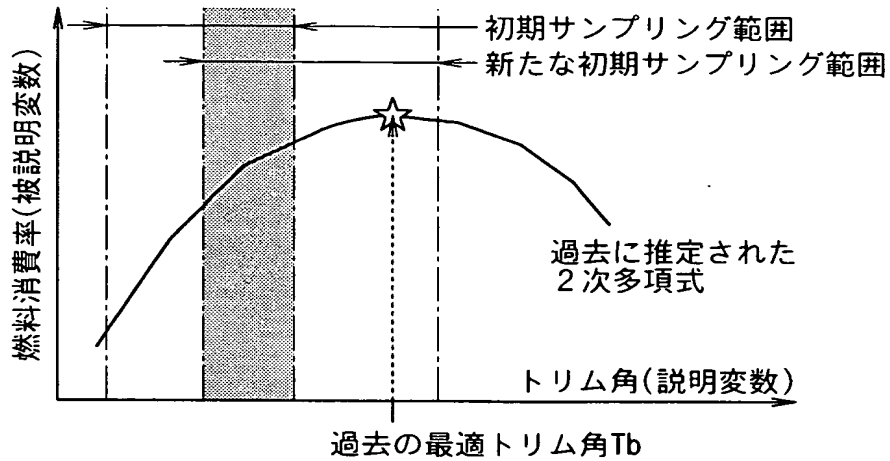
【図 6】



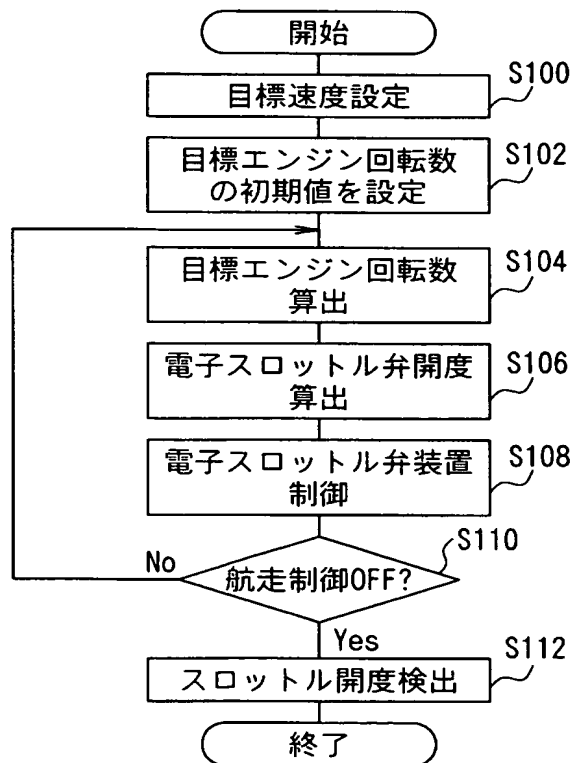
【図 7】



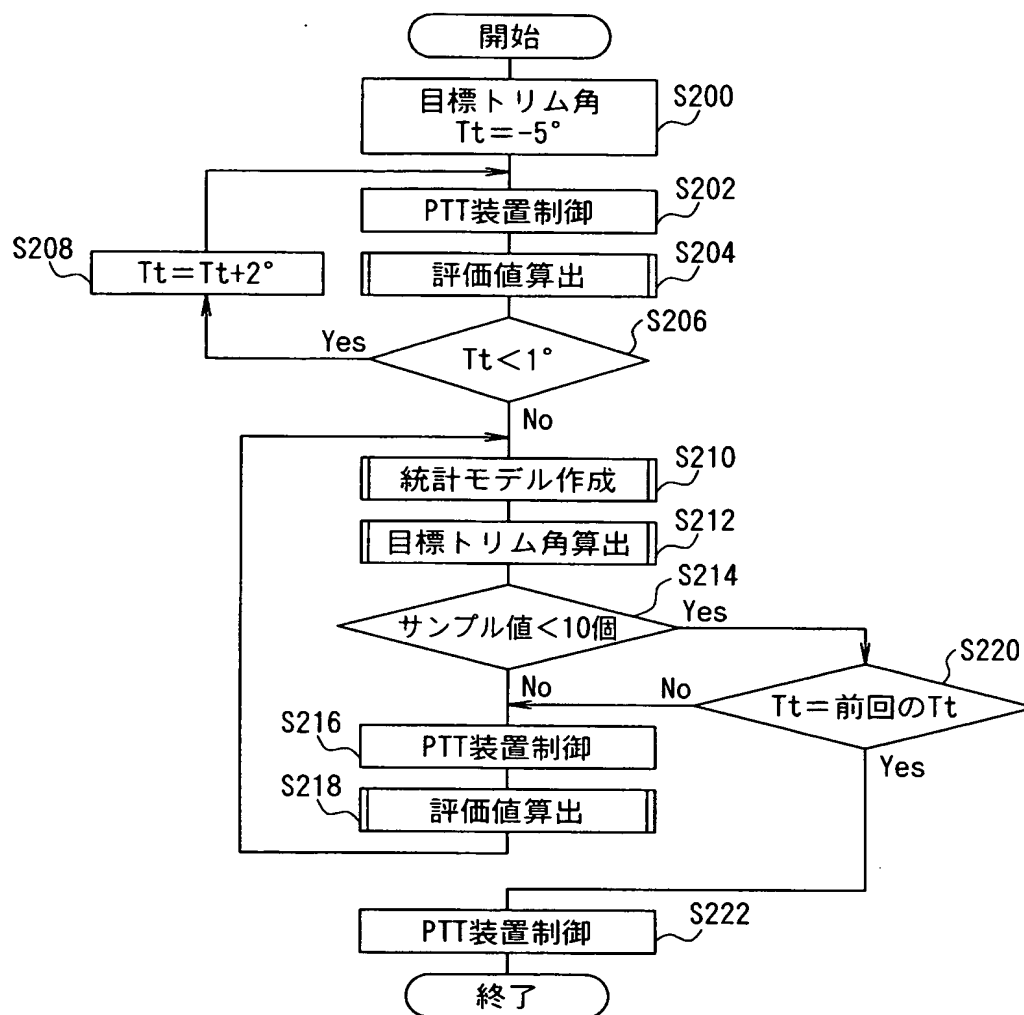
【図 8】



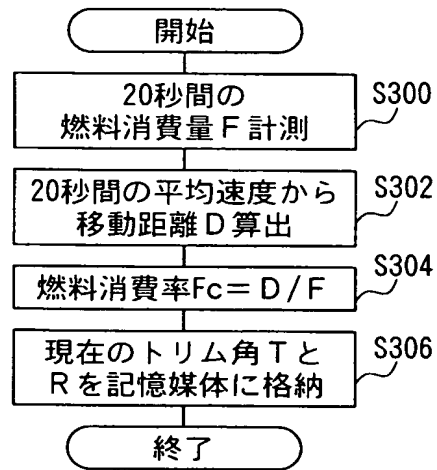
【図 9】



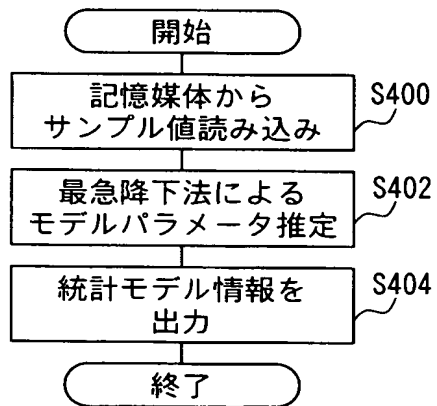
【図 10】



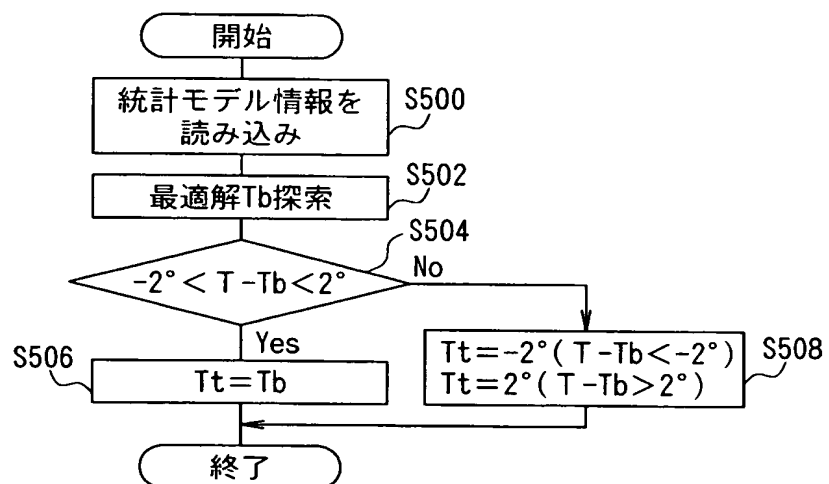
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 任意の艇体と推進器の組合せにおいて、航走中に姿勢角と燃料消費率を計測し、その計測データから統計モデルを作成し、統計モデル上で最適な姿勢角を選択することで、航走中の外乱の影響を受けずに短時間で最適な姿勢角を選択する姿勢角制御装置、姿勢角制御方法及び姿勢角制御装置制御プログラムを提供する。

【解決手段】 航走制御装置 3 を、定速航走制御部 30 と、トリム角制御部 31 と、を含んだ構成とし、トリム角制御部 31 を、トリム角の評価値を算出する評価値算出モジュール 31a と、記憶媒体 31b と、記憶媒体 31b に記憶された評価値を被説明変数、トリム角を含む所定の情報を説明変数として統計モデルを作成する統計モデル作成モジュール 31c と、前記統計モデルから目標トリム角を算出する目標トリム角算出モジュール 31d と、を含んだ構成とした。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 1 0 0 7 6 ]

1. 変更年月日	1 9 9.0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	静岡県磐田市新貝 2 5 0 0 番地
氏 名	ヤマハ発動機株式会社